



TUGAS AKHIR TF 141581

**OPTIMASI LAJU ALIR MASSA GAS PADA
MULTI GAS WELLS SYSTEM MENGGUNAKAN
SIMULASI PIPESIM**

**SAYED CHAIRUL UMAM
NRP 2413.106.008**

**Dosen Pembimbing :
Totok Ruki Biyanto, Ph.D**

**Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016**



FINAL PROJECT TF 141581

***GAS MASS FLOWRATE OPTIMIZATION ON MULTI
GAS WELLS SYSTEM USING PIPESIM SIMULATION***

SAYED CHAIRUL UMAM

NRP 2413.106.008

Dosen Pembimbing :

Totok Ruki Biyanto, Ph.D

Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016

OPTIMASI LAJU ALIR MASSA GAS PADA *MULTI GAS WELLS* SYSTEM MENGGUNAKAN SIMULASI PIPESIM

Oleh :
Sayed Chairul Umam
NRP : 2413 106 008

Pembimbing

Totok Ruki Biyanto, Rb.D
NIPN. 19710702 199802 1 001

**Ketua Jurusan
Teknik Fisika FTI-ITS**

Agus Muhammad Hatta, ST, MSi, Ph.D
NIPN. 19780902 200312 1 002



LEMBAR PENGESAHAN

OPTIMASI LAJU ALIR MASSA PADA *MULTI GAS* WELLS SYSTEM MENGGUNAKAN SIMULASI PIPESIM

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada





Bidang Studi Rekayasa Instrumentasi
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

SAYED CHAIRUL UMAM

NRP. 2413 106 008

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Totok Ruki Biyanto, Ph.D  (Pembimbing)
2. Dr.Ir. Ali Musyafa', MSc  (Ketua Penguji)
3. Hendra Cordova, ST,MT  (Penguji I)
4. Detak Yan Pratama, ST, MSc  (Penguji II)

SURABAYA
JANUARI 2016

OPTIMASI MASSA LAJU ALIR GAS PADA *MULTI GAS WELLS SYSTEM* MENGGUNAKAN SIMULASI PIPESIM

Nama Mahasiswa : Sayed Chairul Umam
NRP : 2413 106 008
Pembimbing : Totok Ruki Biyanto, Ph.D

Abstrak

Sumur gas harus dirawat atau dijaga agar massa (m) gas yang terkirim sesuai permintaan. Dengan kata lain, jika terlalu banyak massa yang terkirim melebihi permintaan maka akan dikembalikan lagi ke dalam sumur. Sebaliknya, bila massa kurang akan menyebabkan produksi tidak maksimal bahkan dapat menyebabkan *trip* (mati) misalnya pada kompressor. Melihat fungsinya maka pengaturan neraca massa sangat penting pada sistem ini diperlukan perlakuan khusus salah satunya adalah dengan mengoptimasi kondisi laju massa dari setiap sumur dijadikan sebagai fungsi objektif dari optimasi. metode simpleks yang digunakan untuk mencari target laju massa *upstream* tiap sumur dan hubungannya dengan kehilangan tekanan. Variabel dalam penelitian ini memiliki *constraint* yaitu tekanan maksimum – tekanan minimum dan kapasitas laju massa maksimum pada setiap sumur. Hasil dari optimasi menunjukkan bahwa rata rata *error* 6.7% dari 15 sumur dengan nilai laju massa setiap sumur karakteristik A memiliki nilai 0.27 Kg/s dengan pressure drop 56261.22 Pa sedangkan pada karakteristik B memiliki nilai 0.43 Kg/s dengan kehilangan tekanan 340601 Pa dengan total laju massa 5 kg/s.

Kata kunci: Optimasi, Analisa Sistem Nodal, Sumur Gas, IPR, OPR, Beggs-Brill, Gilbert

GAS MASS FLOWRATE OPTIMIZATION ON MULTI GAS WELLS SYSTEM USING PIPESIM SIMULATION

Student Name : Sayed Chairul Umam
NRP : 2413 106 008
Supervisor : Totok Ruki Biyanto, Ph.D

Abstract

Gas wells must be treated or maintained gas mass flowrate that is delivered on demand. In other words, if too much mass that sent exceed will be reinstated into the well. And then when mass flowrate less will cause not maximal production and can even cause trip for example on the compressor. Therefore, See the function of mass balance needed special treatment in this system, one of which is by optimizing mass flowrate condition of any well made as objective function. On this research uses the Beggs-Brill equation and Gilbert correlation to find out the value of mass flowrate and pressure drop where each well will be collected at one point called with header and from the header will be sent to a separator facility. The mass flowrate target is the minimize difference sums of 15 wells with the mass flowrate at header is constant. Each well will divided into nine wells has same characteristics which called well A and six wells has same characteristics which called well B. which mass flowrate well is variables will be optimized.using simplex method. Mass flowrate target should not surpass the maximum mass capacity at each well. The variable have a constraint i.e. the maximum pressure – minimum pressure and maximum flowrate mass capacity at each well. The results show that the optimization of average error is 6.7% from 15 wells. Well A has a value is 0.27 Kg/s with pressure drop 56261.22 Pa while on well B has a value is 0.43 Kg/s with pressure drop 340601 Pa with total mass flowrate about 5 kg/s.

Keywords: Optimization, Nodal Analysis System, Gas well, IPR, OPR, Beggs-Brill, Gilbert

KATA PENGANTAR

Segala puji kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat, taufik, hidayat serta inayahnya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul:

“OPTIMASI LAJU ALIR MASSA GAS PADA *MULTI GAS WELLS SYSTEM* MENGGUNAKAN SIMULASI PIPESIM”

Penulis banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak dalam menyelesaikan penelitian ini. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Agus Muhammad Hatta ST, MSi, Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Fisika ITS.
2. Bapak Totok Ruki Biyanto Ph.D selaku pembimbing, yang selalu sabar dan ikhlas memberikan bimbingan, dukungan, motivasi serta nasehat dalam membantu menyelesaikan penelitian dan tidak hanya itu sering memberikan wawasan yang luas kepada saya.
3. Bapak Dr. Ir. Ali Musyafa',MSc, Bapak Hendra Cordova,ST,MT dan Bapak Detak Yan Pratama ST,MSc selaku dosen penguji dan dosen saya selama perkuliahan yang telah memberikan banyak ilmu.
4. Bapak dan Ibu dosen Teknik Fisika yang telah memberikan dan membagikan ilmu selama proses perkuliahan.
5. Para Staff/Pekerja di lingkungan Teknik Fisika yang telah membantu saya selama ini.
6. Orang tua penulis, Waled dan Umi, Kakak dan Abang yang selalu memberikan doa dan dukungan secara moril maupun materil setiap waktu.
7. Teman-teman seperjuangan LJ 2013 Teknik Fisika dan LJ 2014 ganjil yang selalu memberi semangat dalam menyelesaikan penelitian.

8. Teman teman KSE dan LAKONE yang telah menjadi tempat saya belajar banyak selama di Teknik Fisika.
9. Teman Teman kos Gebang 22A yang telah menemani selama masa perkuliahan selama ini.
10. Dan semua pihak yang telah mendukung dan memberikan doa yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa penulisan laporan Tugas Akhir ini belum sempurna. Oleh karena itu kritik dan saran yang membangun dari semua pihak sangat penulis harapkan, sehinggadapat menjadi lebih baik lagi. Penulis juga berharap semoga laporan penelitian ini dapat menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembacanya.

Surabaya, 26 Januari 2016

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
NOMENKLATUR	xiii
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Laporan.....	3
 BAB II TEORI PENUNJANG	 5
2.1 Sumur Gas.....	5
2.2 Batasan Masalah.....	6
2.3 Optimasi.....	7
2.4 Pemodelan Sistem Proses.....	9
2.4.1 Hukum Kesetimbangan Energi.....	9
2.4.2 Hukum Kesetimbangan Massa.....	9
2.4.3 Hukum Beggs-Brill.....	10

2.5	<i>Choke Flow</i>	14
2.6	Analisa Sistem Nodal.....	16
2.6.1	<i>Inflow Performance Relationship (IPR)</i>	17
2.6.2	<i>Outflow Performance Relationship (OPR)</i>	17
2.7	<i>Software Pipesim</i>	18
BAB III METODOLOGI		19
3.1	Pengumpulan Data.....	20
3.2	Pemodelan <i>Pipeline</i> dan <i>Valve</i>	21
3.2	<i>Objective function</i>	23
3.2	Analisa Sistem Nodal	25
3.3	Optimasi Pemodelan Sumur Gas	27
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN		29
4.1	Validasi Sistem Analisa Nodal	29
4.2	<i>Analisis Base Case</i>	32
4.3	Optimasi Pemodelan	33
4.3.1	Hasil Optimasi.....	33
4.4	Pembahasan.....	36
BAB V PENUTUP		39
5.1	Kesimpulan.....	39
5.2	Saran	39
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Gas Production Elements</i> [3].....	5
Gambar 2.2 Pola Aliran Horizontal Dua Fase [3].....	7
Gambar 2.3 <i>Gas Pipeline System</i>	8
Gambar 2.4 <i>Choke Flow condition</i>	16
Gambar 2.5 <i>Work Restriction Correlations</i>	16
Gambar 2.6 Sistem Sumur Produksi [9].....	16
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	19
Gambar 3.2 Pemodelan Perpipaan Sumur Gas	21
Gambar 3.3 Rancangan Sumur Gas Analisa Sistem Nodal	26
Gambar 3.4 Fasilitas Permukaan Sumur Gas	26
Gambar 4.1 Hubungan <i>Mass Flowrate</i> dan <i>Pressure Drop</i> pada Karakteristik A Pipesim	29
Gambar 4.2 Hubungan <i>Mass Flowrate</i> dan <i>Pressure Drop</i> pada Karakteristik B Pipesim	30
Gambar 4.3 Hubungan <i>Mass Flowrate</i> dan <i>Pressure Drop Well</i> B Beggs-Brill	36
Gambar 4.4 Hubungan <i>Mass Flowrate</i> dan <i>Pressure Drop Well</i> B Beggs-Brill	36

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Karakteristik Sumur Gas	20
Tabel 3.2 Data Variabel Persamaan Beggs-Brill	23
Tabel 3.3 Variabel Optimasi	24
Tabel 3.4 Batasan Optimasi	25
Tabel 4.1 Validasi Model	31
Tabel 4.2 Perhitungan Beggs-Brill	32
Tabel 4.3 Perhitungan Persamaan Gilbert	33
Tabel 4.4 Perhitungan <i>Mass Flowrate</i> Setiap Sumur	34
Tabel 4.5 Hasil Optimasi <i>Mass Flowrate</i> Target Setiap Sumur	35

NOMENKLATUR

Singkatan

IPR : *Inflow Performance Relations*
OPR : *Outflow Performance Relations*
HL : *Liquid Hold Up*

Variabel

c_p

T_i :

T

T_{ref}

Q : Energi *Steam* (kkal/jam)

ρ : Kerapatan cairan (kg/m^3)

F_i : Laju alir fluida masuk (m^3/detik)

F : Laju alir fluida keluar (m^3/detik)

Re : Reynold *number*

ρ_g : densitas gas (kg/m^3)

v_m : kecepatan campuran (m/s)

d : diameter aliran (m)

N_{LV} : *liquid velocity number*

v_{SL} : *superficial liquid velocity*

ρ_L : densitas zat cair

g : percepatan gravitasi

f_{tp} : faktor gesekan dua fase

G_m : laju fluks massa campurann (kg/s)

v_m : kecepatan campuran (m/s)

g_c : konstanta gravitasi ($\frac{\text{m}^3}{\text{kg s}^2}$)

d : diameter aliran (m)

g : percepatan gravitasi (m/s^2)

P_{wh} : tekanan kepala sumur (Pa)

Q : laju alir awal (m^3/s)

S_g : *specific gravity* (0.66)

Z : *compressibility gas factor* (0.167)

$BS\&W$: *basic solid and water* (0.005)

H : kedalaman sumur (200 m)

S : *bean size*

Simbol Yunani

σ : tegangan permukaan air

λ : *input liquid content*

Konstanta

Koefisien Empiris A : 0.0382

Koefisien Empiris B : 2.151

Koefisien Empiris C : 0.5154

Koefisien Empiris D : 0.52695

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Banyaknya gas yang mengalir ke permukaan disebut sebagai laju produksi gas. Suatu lokasi eksploitasi gas biasanya terdiri dari sumur-sumur gas, fasilitas pemrosesan dan fasilitas untuk mentransportasikan gas. Sehingga diperlukan pemilihan sumur yang tepat agar keluaran tidak terlalu kecil maupun melebihi nilai laju produksi sumur. Dengan kata lain, sumur gas harus dirawat atau dijaga agar massa (m) fluida gas yang terkirim ke berbagai fasilitas sesuai target produksi. Dengan kata lain, jika terlalu banyak massa yang terkirim melebihi permintaan maka akan dikembalikan lagi. Sebaliknya, bila massa kurang akan menyebabkan produksi tidak maksimal bahkan dapat menyebabkan trip (mati) dikarenakan tekanan yang dibawa tidak memenuhi kapasitas untuk keperluan pada fasilitas lainnya misalnya kompressor. Melihat fungsinya maka pengaturan neraca massa sangat penting pada sistem ini. Hal ini akan bertambah rumit jika sebuah produksi sumur gas yang mempunyai karakteristik massa dan properti yang berbeda beda. Sehingga optimasi neraca massa pada sumur sumur sangatlah diperlukan. Oleh karena itu, pengaturan neraca massa harus sesuai target dari sumur gas yang mana untuk mengoptimasi neraca massa pada sumur sumur gas diperlukan tiga komponen yaitu sebagai berikut:

1. Pemodelan perpipaan
2. Membuat problem formulasi (*objective function*)
3. Melakukan optimasi

Pada penelitian sebelumnya, perhitungan *mass flowrate* target pada sumur dilakukan dengan persamaan metode Levenberg – Marquard yang dilakukan pada tekanan kepala sumur hingga fasilitas pengumpul pada satu sumur [1]. Solusi numeric analisa sistem nodal untuk mencari kehilangan tekanan di pipa hingga fasilitas separator dengan selang *error* 16.65% - 46.24% pada satu sumur [2].

Pada penelitian ini akan digunakan persamaan metode Beggs&Brill dan korelasi Gilbert untuk mengetahui nilai *mass flowrate* pada setiap sumur (15 sumur). Sehingga tujuan tugas akhir ini mencari *mass flowrate* pada masing-masing sumur dengan batasan hubungan antara *mass flowrate* terhadap *pressure drop*. Selanjutnya akan dibandingkan dengan analisa sistem nodal pada PIPESIM Dalam sistem analisa nodal dibuat grafik hubungan antara *inflow performance relations* (IPR) dengan *outflow performance relations* (OPR) di sebuah titik untuk mencari operating point dengan memasukkan data hasil metode yang digunakan.

1.2 Rumusan Permasalahan

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, permasalahan yang bisa diangkat dalam tugas akhir ini adalah :

- a. Bagaimana pemodelan perpipaan pada sumur gas
- b. Bagaimana menentukan sebuah *objective function* yang realistis pada sistem
- c. Bagaimana implementasi optimasi untuk memperoleh *mass flowrate* pada setiap sumur
- d. Bagaimana membuat validasi model menggunakan analisa sistem nodal pada PIPESIM

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari tugas akhir ini yaitu:

- a. Mencari *mass flowrate* pada masing-masing sumur dengan batasan hubungan antara *mass flowrate* terhadap *pressure drop* menggunakan Beggs & Brill dan persamaan korelasi Gilbert.
- b. Membuat *objective function* yaitu neraca massa yang sesuai untuk sistem
- c. Mengimplementasikan optimasi untuk mendapatkan laju alir gas sesuai target
- d. Membuat validasi model menggunakan analisa sistem nodal pada PIPESIM

1.4 Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

- a. Penelitian akan dilakukan pada sumur gas dengan pemodelan *pipeline* menggunakan persamaan Beggs & Brill dan korelasi Gilbert
- b. *Objective function* yang akan ditentukan yaitu *mass flowrate* target dengan selisih minimize terhadap *mass flowrate* sumur.
- c. Membuat validasi model menggunakan analisa sistem nodal pada PIPESIM

1.5 Sistematika Laporan

Sistematika dalam menulis laporan penelitian tugas akhir ini sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan, batasan masalah, manfaat penelitian, metodologi penelitian dan sistematika laporan.

BAB II TEORI PENUNJANG

Merupakan bab yang berisi tentang referensi penelitian sebelumnya yang mendasari dilakukannya tugas akhir ini. Selain itu, juga terdapat teori-teori yang merupakan dasar penyelesaian permasalahan sehingga tujuan dapat dicapai. Dasar teori ini meliputi sumur gas, analisa sistem nodal hingga cara kerja software yang digunakan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Berisi tentang uraian langkah-langkah secara rinci dalam proses pengerjaan tugas akhir. Isi bab ini terdiri dari pengolahan data secara kuantitatif, serta penyusunan data pada pipesim.

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Berisikan tentang hasil pengolahan data yang dilakukan dan analisis yang dilakukan terhadap data-data yang ada dan hasil.

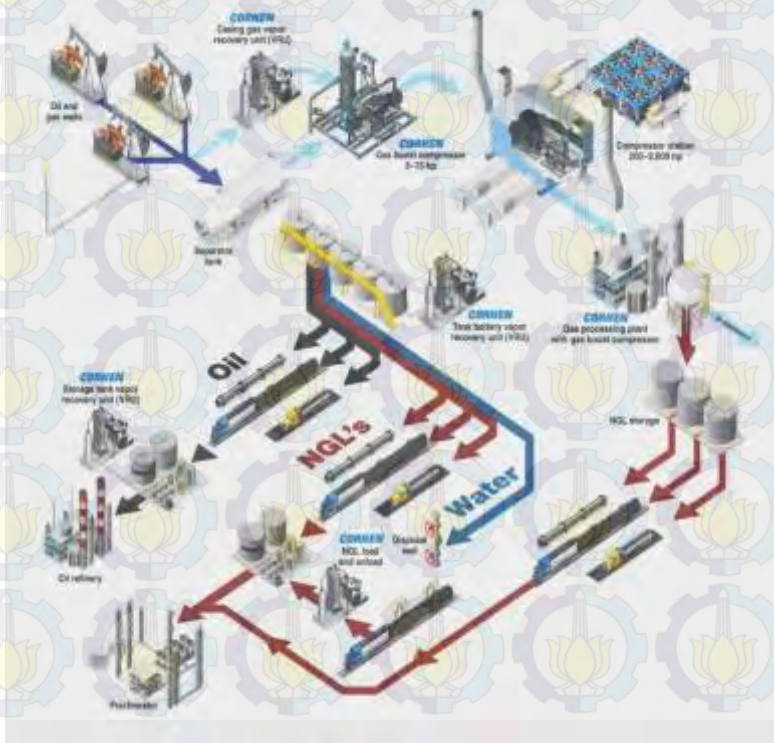
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi tentang kesimpulan dari hasil perhitungan dan analisis data dari penelitian yang telah dilakukan serta berisi saran untuk penelitian selanjutnya

BAB II TEORI PENUNJANG

2.1. Gas Alam

Proses pengolahan gas alam adalah proses industri yang kompleks dirancang untuk membersihkan gas alam mentah dengan memisahkan kotoran dan berbagai non-metana hidrokarbon dan cairan untuk menghasilkan apa yang dikenal sebagai *dry natural gas*. Pengolahan Gas alam dimulai sumur bor. Komposisi gas alam mentah yang diekstrak dari sumur bor tergantung pada jenis, kedalaman, dan kondisi geologi daerah. Minyak dan gas alam sering ditemukan bersama-sama dalam *reservoir*.



Gambar 2.1. Gas Production Elements ^[3]

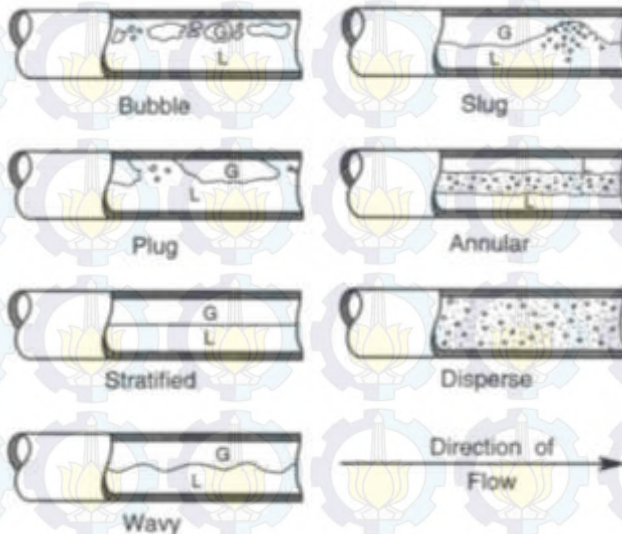
Flowline adalah pipa penyalur gas bumi dari suatu sumur menuju tempat pemisahan biasanya memiliki 0.1 m – 0.8m (tergantung kapasitas sumur) agar aliran tidak kembali dari sumur maka setiap sumur dipasang *check valve* (penghalang) maupun digunakan aliran *choke flow*. *Manifold* adalah sekumpulan valve dideretkan untuk mengatur aliran masuk ke *header* dan *separator* yang dikehendaki. Ada 3 macam *manifold* yaitu *production manifold*, *test manifold*, dan *gas lift manifold*.

Ada beberapa sistem *manifold* yaitu *individual well flowline* dan *satellite production manifold*. *individual well flowline* adalah sistem yang sering dijumpai pada lapangan minyak dan gas yang kecil. Pada sistem ini, *flowline* dari tiap sumur langsung dihubungkan dengan lapangan pengumpul melalui *test manifold* atau *production header*. Pada sistem ini, *well testing* dapat langsung dilakukan di titik sentral, sehingga menjadi fleksibel. Sedangkan pada *satellite production manifold* adalah sistem yang sering dijumpai pada lapangan minyak dan gas yang luas. Pada sistem ini *flowline* cukup pendek dari tiap sumur yang dihubungkan dengan menggunakan pipa yang lebih besar biasanya disebut *production lateral*, dan juga dihubungkan dengan *test time*. Hal ini ditujukan untuk menghindari penggunaan *individual flowlines* yang sangat panjang sehingga bisa menyebabkan *pressure drop* yang besar.

2.2. Aliran Multi Fase

Aliran multi fase dapat ditemukan pada sistem perpipaan di berbagai bidang industri seperti di industri minyak dan gas, pembangkit listrik tenaga panas bumi, pembangkit listrik tenaga nuklir, industri kimia. Aliran multi fase merupakan aliran fluida yang mengandung lebih dari satu fase. Aliran multi fase merupakan fenomena yang kompleks karena saling ketergantungan dari berbagai variabel yang mempengaruhi *pressure drop* seperti pola aliran, *hold up*, geometri aliran, laju aliran tiap fase, dan properti fluida dari tiap fase [3].

Pada aliran multi fase, aliran setiap fase akan berhubungan dengan geometri atau pola aliran. Pola aliran fase gas dan cair pada pipa horizontal akan bertransisi berdasarkan kualitas massa masing-masing fase. Pola. Skema pola aliran pada pipa horizontal ditunjukkan oleh gambar berikut.

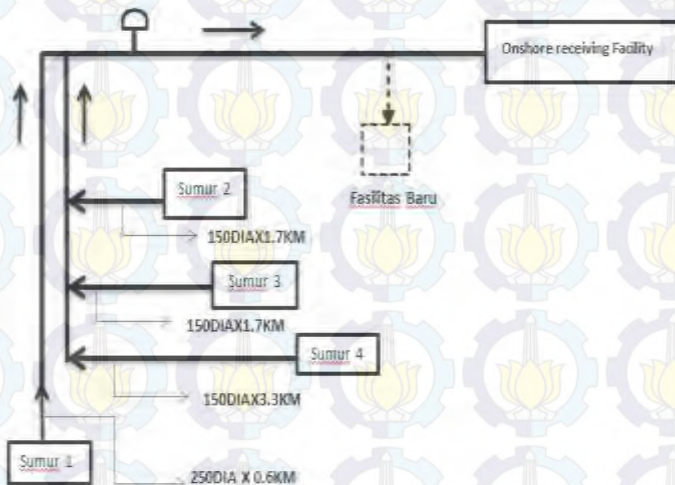


Gambar 2.2. Pola Aliran Horizontal Dua Fase ^[3]

2.3. Optimasi

Teknik optimasi merupakan suatu cara yang dilakukan untuk memberikan hasil terbaik yang diinginkan. Sistem optimasi ini umumnya mengacu kepada teknik program matematika yang biasanya membahas atau mengacu kepada jalannya program penelusuran/penelitian (*research programming*) tentang masalah yang sedang dihadapi. Teknik ini diharapkan dapat memberikan solusi yang terbaik dari hasil keputusan yang telah diambil dari permasalahan yang sedang dihadapi tersebut. Teknik optimasi digunakan untuk memberikan hasil terbaik dari hal yang terburuk atau hal yang terbaik, tergantung masalah yang dihadapi. Hasil Optimasi mungkin Hasil tertinggi (misalnya keuntungan) atau Hasil Terendah (misalnya kerugian). Optimasi Memerlukan

strategi yang bagus dalam mengambil keputusan agar diperoleh hasil yang sesuai target. Pada tugas akhir ini akan digunakan optimasi sumur gas menggunakan penyelesaian *Solver* dengan metode simpleks. Metode simpleks digunakan untuk menyelesaikan masalah optimasi yang melibatkan tiga variabel atau lebih yang tidak dapat diselesaikan oleh metode grafik. Metode simpleks adalah metode yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang memiliki lebih dari dua variabel. Metode simpleks yaitu untuk menyelesaikan permasalahan yang memiliki variabel keputusan minimal dua dengan menggunakan alat bantu tabel. Metode simpleks dibedakan menjadi dua yaitu, metode simpleks maksimasi untuk mencari keuntungan maksimal dan metode simpleks minimasi untuk mencari harga minimal. Dari hasil tersebut kemudian didapatkan nilai *mass flowrate* gas target dari keseluruhan sumur gas



Gambar 2.3. Gas Pipeline System

2.4. Pemodelan Sistem Proses

Pada pemodelan sumur hingga fasilitas *separator* digunakan prinsip persamaan Gilbert dan hukum Begg&Brill Sehingga didapat solusi numerik untuk penelitian ini.

2.4.1. Hukum kesetimbangan energi

$$\left(\frac{\text{akumulasi energi}}{\text{waktu}} \right) = \left(\frac{\text{energi masuk}}{\text{waktu}} \right) - \left(\frac{\text{energi keluar}}{\text{waktu}} \right) + \left(\frac{\text{akumulasi steam}}{\text{waktu}} \right)$$

$$\frac{d[\rho A h c_p (T - T_{ref})]}{dt} = \rho F_i c_p (T_i - T_{ref}) - \rho F c_p (T - T_{ref}) + Q \quad (2.1)$$

c_p

T_i

T

T_{ref}

Q = Energi Steam (kkal/jam)

Penyederhanaan persamaan hukum ke-setimbangan energi dengan asumsi bahwa $T_{ref} = 0$, ρ konstan, c_p konstan, fungsi transfer sebagai berikut [5].

$$T(s) = \frac{T_i(s)}{(\tau s + 1)} + \frac{H}{(\tau s + 1)} \frac{F_{steam}(s)}{F_i c_p} \quad (2.2)$$

Misalnya

$F_i = 0,8755 \text{ m}^3/\text{detik}$

$\rho = 1,54 \text{ kg/m}^3$

$c_p = 0,418$

$H = 396,495 \text{ kkal/kg}$

$$T(s) = \frac{T_i(s)}{(1974,35s + 1)} + \frac{1131,06}{(1874,35s + 1)} F_{steam}(s)$$

2.4.1. Hukum Kesetimbangan Massa

$$\left(\frac{\text{akumulasi massa}}{\text{waktu}} \right) = \left(\frac{\text{massa masuk}}{\text{waktu}} \right) - \left(\frac{\text{massa keluar}}{\text{waktu}} \right) \quad [5]$$

$$\frac{d(\rho Ah)}{dt} = \rho F_i - \rho F \quad (2.3)$$

Dimana :

ρ = Kerapatan cairan (kg/m^3)

F_i = Laju alir fluida masuk (m^3/detik)

F = Laju alir fluida keluar (m^3/detik)

2.4.2. Hukum Beggs - Brill

Metode Begg & Brill bekerja untuk aliran horizontal atau vertikal dan segala sesuatu di antaranya. Metode ini menggunakan kesetimbangan energi mekanik umum dan kepadatan rata-rata massa jenis untuk menghitung gradien tekanan. Selanjutnya, dilakukan perhitungan *flow pattern* untuk mengetahui pola aliran multifasa sebagai berikut :

$$Nfr = \frac{vm^2}{gd} \quad (2.4)$$

Perhitungan *Liquid Hold Up* (HL)

Beggs dan Brill menggunakan faktor gesekan dua fase yang dinormalisasi dengan membagi dengan nilai asumsi tanpa slip yang berlaku apabila fluida mengalir pada kecepatan yang sama. Faktor koreksi tanpa slip diperoleh dari diagram Moody atau untuk pipa yang halus diperoleh dari persamaan berikut:

$$f_{ns} = \left[2 \log \left(\frac{N_{Reynolds}}{4,5223 \log N_{Reynolds} - 3,8215} \right) \right]^{-2} \quad (2.5)$$

Persamaan untuk faktor gesekan dua fase adalah:

$$\frac{f_{tp}}{f_{ns}} = e^s \quad (2.6)$$

Dimana:

$$S = \frac{\ln(y)}{-0,0523 + 3,182 \ln(y) - 0,8725 [\ln(y)]^2 + 0,01853 [\ln(y)]^4} \quad (2.7)$$

$$y = \frac{\lambda}{[H_L(\theta)]^2} \quad (2.8)$$

Untuk interval $1 < y < 1,2$ nilai S dapat ditentukan dengan persamaan:

$$S = \ln(2,2y - 1,2) \quad (2.8)$$

Perhitungan Reynold Number

Reynold number merupakan bilangan tak berdimensi yang merepresentasikan rasio antara gaya inersia dan gaya *viscous*.

$$Re = \frac{\text{Inertia Forces}}{\text{Viscous Forces}} \quad (2.9)$$

Reynold number sering digunakan untuk mempelajari analisis dimensi dari masalah dinamika fluida yang ada di dunia nyata. Selain itu, *reynold number* juga biasa digunakan untuk menentukan perbedaan aliran yang ada:

- *Laminar flow*, terjadi ketika *Reynolds number* dibawah 2000
- *Transition Flow*, terjadi ketika *Reynolds number* diantara 2000 dan 4000
- *Turbulent Flow*, terjadi ketika *Reynold number* diatas 4000

Reynold number digunakan sebagai angka berbagai situasi dimana fluida yang bergerak dengan berbagai gaya di permukaan. Definisi ini secara umum termasuk kepada pengaruh dari *density* dan *viscosity*, ditambah *velocity* dan karakteristik panjang atau karakteristik dimensi [8].

$$Re = \frac{\rho u L}{\mu} = \frac{u L}{\nu} \quad (2.11)$$

Untuk aliran multi fase, persamaan Reynolds number adalah sebagai berikut:

$$Re = \frac{[\rho_L \lambda + \rho_g (1-\lambda)] v_m d}{\mu_L \lambda + \mu_g (1-\lambda)} \quad (2.12)$$

Dimana:

Re = Reynold *number*

ρ_g = densitas gas (kg/m^3)

v_m = kecepatan campuran (m/s)

d = diameter aliran (m)

λ = *input liquid content*

Namun jika ingin memperhitungkan efek viskositas dan turbulensi atau yang sering disebut koefisien debit (Cd). Koefisien debit (Cd) merupakan fungsi dari rasio diameter, Bilangan Reynolds (Re), lokasi dari tekanan keran dan faktor gesekan.

$$Cd = (0.5691 + 0.0261) * (\beta^2) - (0.216 * \beta^3) + (0.000521 * \left(\frac{10^6 * \beta}{Re}\right)^{0.7}) + (0.0188 + 0.0063 * \left(19000 * \frac{\beta}{Re}\right)^{0.8}) * \left(\frac{10^6}{\beta}\right)^{0.3} * Re^{3.5} + (0.043 + 0.08 * (4.53 * 10^{-5}) - (0.123 * 0.037)) * (1 - 0.11 * \left(19000 * \frac{\beta}{Re}\right)^{0.8}) * \left(\frac{Re^4}{1} - \beta^4\right) - 0.031 * ((2 * 0.47/1 - \beta) - 0.8 * \left(2 * \frac{0.47}{1} - \beta\right)^{11}) * \beta^{13} \quad (2.13)$$

Perhitungan *Froude Number*

Froude number adalah bilangan tak berdimensi yang mendefinisikan rasio antara inertia aliran dan medan eksternal (pada sebagian besar kasus dikarenakan oleh gravitasi).

$$Fr = \frac{v_m^2}{gd} \quad (2.14)$$

Dimana:

v_m = kecepatan campuran (m/s)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

d = diameter aliran (m)

Dalam dinamika fluida, *Froude number* merepresentasikan pola aliran yang berbeda dari fluida yang mengalir pada

permukaan yang terbuka. Froude *number* adalah pengukuran karakteristik aliran seperti gelombang, interaksi aliran dan kedalaman pada penampang atau di antara batuan. Penyebut merepresentasikan kecepatan gelombang kecil di permukaan air relative terhadap kecepatan air, yang disebut *celerity* gelombang. Pada aliran kritis, *celerity* sama dengan kecepatan aliran. Gangguan apapun pada permukaan akan tetap diam. Pada aliran subkritis, aliran dikendalikan dari titik *downstream* dan informasi ditransmisikan ke *upstream*. Kondisi ini menyebabkan efek *backwater*. Aliran super kritis dikendalikan dari *upstream* dan gangguan ditransmisikan ke *downstream*.

Perhitungan *Liquid Velocity Number*

Liquid velocity number merupakan bilangan tak berdimensi yang dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$N_{LV} = v_{SL} \left(\frac{\rho_L}{g\sigma} \right)^{0,25} \quad (2.15)$$

Dimana:

N_{LV} = *liquid velocity number*

v_{SL} = *superficial liquid velocity* = q_L / A_p

ρ_L = densitas zat cair

g = percepatan gravitasi

σ = tegangan permukaan air

Perhitungan *Gas Velocity Number*

Gas velocity number merupakan bilangan tak berdimensi yang dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$N_{gv} = v_{sg} \left(\frac{\rho_L}{g\sigma} \right)^{0,25} \quad (2.16)$$

Dimana:

N_{gv} = *gas velocity number*

v_{sg} = *superficial gas velocity* = q_g / A_p

- ρ_L = densitas zat cair
 g = percepatan gravitasi
 σ = tegangan permukaan air

Perhitungan *Pressure Drop*

Pressure drop pada aliran multi fase terjadi karena adanya gesekan atau *friction loss*, perbedaan elevasi atau perubahan energi potensial, dan akselerasi atau perubahan energi kinetik. Tetapi pada kebanyakan kasus analisis energi kinetik atau *pressure loss* karena akselerasi dapat diabaikan. Berikut ini nilai gesekan, perbedaan elevasi dan akselerasi didapatkan sebagai berikut :

$$\left(\frac{\partial p}{\partial Z}\right)_{friction} = \frac{f_{tp} G_m v_m}{2 g_c d} \quad (2.17)$$

$$\left(\frac{\partial p}{\partial Z}\right)_{elevation} = \frac{g}{g_c} [\rho_L H_L + \rho g (1 - H_L)] \sin \theta \quad (2.18)$$

$$\left(\frac{\partial p}{\partial Z}\right) = \frac{f_{tp} G_m v_m}{2 g_c d} - \frac{g}{g_c} [\rho_L H_L + \rho g (1 - H_L)] \quad (2.19)$$

Dimana:

f_{tp} = faktor gesekan dua fase

G_m = laju fluks massa campuran (kg/s)

v_m = kecepatan campuran (m/s)

g_c = konstanta gravitasi ($\frac{m^3}{kg \cdot s^2}$)

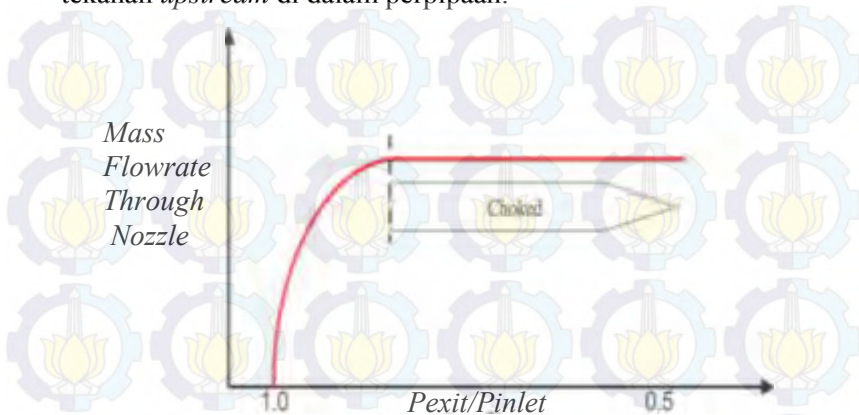
d = diameter aliran (m)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

2.5. *Choke Flow*

Choke Flow adalah fenomena yang membatasi laju kompressibel aliran massa fluida mengalir melalui nozel, lubang dan ekspansi mendadak. Setelah mencapai kondisi *choke flow*

akan terjadi penurunan tekanan *downstream* dibawah harga tekanan *upstream* di dalam perpipaan.



Gambar 2.4. Choke Flow Condition

Selanjutnya dicari persamaan untuk mendapatkan nilai *flowrate downstream* yang melewati *choke flow* dengan menggunakan modifikasi persamaan Gilbert

$$P_{wh} = \frac{Q GLR^C}{A S^B} \quad (2.20)$$

$$S = \frac{A Sg H}{TZ} \quad (2.21)$$

Dimana :

P_{wh} = tekanan kepala sumur (Pa)

Q = laju alir awal (m³/s)

Sg = *specific gravity* (0.66)

Z = *compressibility gas factor* (0.167)

$BS\&W$ = *basic solid and water* (0.005)

H = kedalaman sumur (200 m)

S = *bean size*

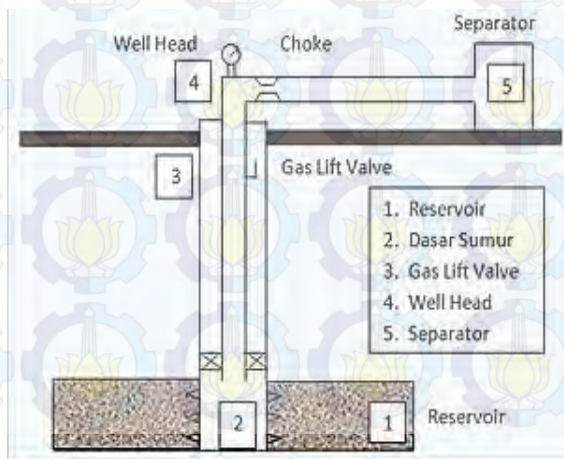
Table 1. Empirical coefficient for different correlations and their accuracy (General form: $Q = A \frac{P_{wf}^B (1 - \frac{P_{wf}}{P_{max}})^C}{\mu Z^D}$)

Correlation	Empirical Coefficient				Error %	Absolute Error %
	A	B	C	D		
Timmer	0.0528	2.275	0.586	0	2.95	12.1
Timmer	0.0382	2.151	0.5154	0.52965	2	9.8
Gilbert	0.1	1.89	0.546	0	11.26	18.57
Ras	0.574	2	0.5	0	15.95	19.2
Barronell	0.0046	1.93	0.546	0	32.1	33
Achong	0.2613	1.88	0.65	0		

Gambar 2.5. *Work² Restriction Correlation*

2.6. Analisa Sistem Nodal

Titik nodal adalah titik pertemuan antara dua kelakuan aliran fluida yang berbeda. Untuk menentukan titik nodal, biasanya dilihat dahulu konfigurasi sumurnya. Kebanyakan titik nodal ada di dasar sumur hingga *separator*. Titik-titik nodal yang lain seperti ditunjukkan gambar di bawah [9].



Gambar 2.6. Sistem Sumur Produksi [9]

Pada beberapa kasus yang umum P_{inlet} = tekanan *reservoir* dan P_{outlet} = P_{wh} atau P_{sep} . Ada dua kriteria yang harus ditentukan dalam analisa sistem nodal :

1. Aliran yang masuk ke nodal sama dengan aliran yang keluar nodal (laju alir di setiap titik sama).
2. Hanya ada satu harga tekanan pada nodal untuk laju aliran yang diberikan

2.6.1. *Inflow Performance Relationship (IPR)*

Laju produksi gas optimum dipengaruhi oleh karakteristik *reservoir* dan konfigurasi sumurnya. Karakteristik *reservoir* akan berpengaruh pada *reservoir deliverability*, yaitu kemampuan *reservoir* dalam menyediakan laju produksi minyak atau gas pada tekanan dasar sumur (P_{wf}) tertentu [9]. *Reservoir deliverability* dipengaruhi oleh beberapa faktor:

1. Tekanan *reservoir* (P_r) atau tekanan kepala sumur (p_{wh})
2. Kedalaman lapisan (h) dan suhu sumur (T)
3. Reynold Number (N_{re})
4. Diameter pipa (D)
5. Properti fluida *reservoir*
6. Kondisi sekitar lubang sumur ($skin = 0$)
7. Dan lain lain.

Reservoir deliverability biasa disebut sebagai *inflow performance relationship (IPR)*.

2.6.2. *Outflow Performance Relationship (OPR)*

Untuk membuat *outflow performance relationship* yaitu mengplot tekanan di satu titik nodal pada berbagai harga *Mass flowrate*. Tekanan di titik nodal ini dicari dengan cara menjumlahkan tekanan di *downstream* dengan kehilangan tekanan di sepanjang pipa sampai titik nodal. Penghitungan kehilangan tekanan di pipa dapat diperkirakan menggunakan metode Beggs-Brill dan persamaan Gilbert.

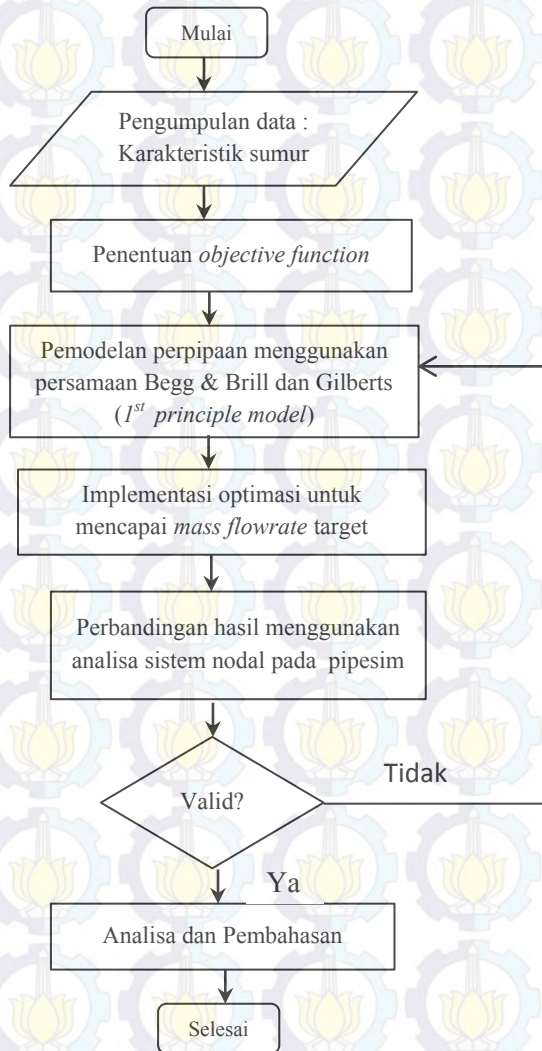
2.7. *Software Pipesim*

Dalam pengembangan model jaringan *Pipeline* di lapangan digunakan software pipesim. Software ini merupakan simulator yang mengakomodasi sistem produksi minyak dan gas dari dasar sumur hingga stasiun penerima (*receiver*). Namun sesuai batasan pada penelitian ini model jaringan yang dibangun hanya dari *reservoir* sumur gas hingga fasilitas pemisah (*separator*). Hal ini tidak mengurangi ketelitian dalam memperoleh model yang sama dengan sebenarnya. *Worksheet* yang dipakai adalah *network* dengan fluida campuran model sebagai model fluida yang dikembangkan. Keunggulan software pipesim seri baru ini adalah terdapat in line separator sehingga memungkinkan pengembangan model yang terintegrasi antara jaringan.

Pengembangan model jaringan pipa yang menggunakan simulator disesuaikan dengan pipeline diagram yang terdapat di lapangan sehingga diperoleh model simulasi yang serupa dengan kondisi di lapangan. Dengan melengkapi data-data yang diperlukan, maka diperoleh model yang sesuai dengan profil dan geometri serta fasilitas produksi di lapangan. Model yang telah sesuai dengan keadaan sebenarnya kemudian digunakan mengembangkan studi optimasi dan kalkulasi kapasitas optimum pada jaringan sumur gas [9]. Analisa sistem nodal adalah satu cara untuk menentukan titik optimum lajur alir suatu produksi sumur gas.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

Analisis ini dilakukan pada 15 sumur gas yang mana sumur gas memiliki 2 karakteristik yang sama dikarenakan nilai tekanan dan laju alirnya sama. Karakteristik A memiliki 9 sumur dengan *pressure max* 5236860 Pa dengan *mass flowrate sumur max* 0.28 kg/s dan karakteristik B memiliki 6 sumur dengan *pressure max* 6544352.95 Pa dengan *mass flowrate max* sumur 0.45 kg/s. kemudian dilakukan perhitungan analisis untuk mengetahui nilai *mass flowrate* masing masing sumur dengan batasan hubungan antara *mass flowrate* terhadap *pressure drop* yang melewati saluran horizontal dengan memasukkan data yang diketahui dan hasil data karakteristik sumur gas yang telah didapatkan.

3.2. Pemodelan Pipeline dan Valve



Gambar 3.2. Pemodelan Perpipaian Sumur Gas

Pemodelan pipeline dengan menggunakan persamaan Beggs-Brill dengan menggunakan pada persamaan (2.17 – 2.19) untuk mencari nilai *pressure drop* pada tiap tiap sumur. dari persamaan Pada tugas akhir ini terdapat 15 sumur yang harus

dimodelkan pada perpipaaan untuk mendapatkan nilai *pressure drop* pada setiap sumur yang mana tiap sumur akan dikumpulkan pada satu titik atau disebut dengan *header* lalu dari *header* akan dikirimkan ke fasilitas pemisah (*separator*). Dari persamaan diatas dapat dicari persamaan *pressure drop* yaitu :

$$\left(\frac{dp}{dz}\right) = \left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)_{friction} + \left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)_{elevation} + \left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)_{acceleration} \quad (3.1)$$

Jadi, laju alir yang dihitung hanya sampai pada fasilitas pemisah saja. Tiap sumur terbagi atas 9 sumur yang memiliki karakteristik yang sama yang disebut well A dan 6 sumur lainnya memiliki karakteristik yang sama yang disebut well B. Kemudian dengan menggunakan persamaan hukum Begg & Brill dan korelasi Gilberts akan dianalisa perhitungan dengan menggunakan aplikasi variabel-variabel yang terdapat di dalam persamaan tersebut. Terdapat 6 variabel di dalam persamaan Beggs-Brill, yaitu faktor gesekan dua fase, laju massa , kecepatan campuran, densitas gas, dan fraksi *holdup* (H_L). Beggs-Brill menggunakan faktor gesekan dua fase (f_{tp}) yang diperoleh dari nilai asumsi tanpa slip. Jika keenam variabel di dalam persamaan Beggs-Brill telah diketahui, maka *pressure drop* pada sumur gas dapat diketahui. Kemudian dicari pemodelan terhadap *choke flow* dengan memasukkan hasil nilai persamaan (2.20 – 2.21) didapatkan persamaan untuk mencari *mass flowrate* target tiap sumur yaitu :

$$Q = A \cdot \frac{P_{whs}^B \left(1 - \frac{BS\&W}{100}\right)^D}{GLR^C} \quad (3.2)$$

Dengan memasukkan nilai tekanan kepala sumur dan ukuran diameter *choke* maka nilai *mass flowrate* akan didapatkan.

Tabel 3.2. Data Variabel Persamaan Beggs-Brill

<i>Mixture Velocity (m/s)</i>	Faktor Gesekan Dua Fase	<i>Mass Flux Rate (kg/s)</i>	Panjang Pipa (m)
4.81	0.225	3.78	600
4.81	0.225	3.78	600
7.80	0.153	6.13	600
4.81	0.225	3.78	600
4.81	0.225	3.78	600
7.80	0.153	6.13	600
4.81	0.225	3.78	600
7.80	0.153	6.13	600
7.80	0.153	6.13	600
4.81	0.225	3.78	600
7.80	0.153	6.13	600
4.81	0.225	3.78	600
4.81	0.225	3.78	600
4.81	0.225	3.78	600
7.80	0.153	6.13	600

3.3. Objective Function

Objective function pada tugas akhir ini yaitu menjaga agar *mass flowrate* gas yang terkirim ke fasilitas agar sesuai target dan tidak lebih besar dari harga *mass flowrate max* pada sumur. Dengan kata lain, jika terlalu banyak massa yang terkirim melebihi permintaan maka akan dikembalikan lagi. Sebaliknya, bila massa kurang dari target akan menyebabkan produksi tidak maksimal bahkan dapat menyebabkan *trip* (mati). Kemudian didapatkan *objective function* sebagai berikut :

$$J = (m_t - \sum_{1:1}^n m_{wn})^2$$

Dengan *constraint* :

$$P_{wn,max} \geq P_{wn} \geq P_{wn,min}$$

$$m_{tn} < m_{wn,max}$$

Massa target selisih *minimize* penjumlahan dari 15 sumur yang akan menjadi massa target dengan massa target pada header konstan. Massa target tidak boleh melebihi kapasitas massa maksimal pada setiap sumur. Lalu setelah *objective function* sesuai akan dioptimasi agar *flowrate* pada masing masing sumur memiliki keluaran target dengan rentang selisih yang kecil. jika *mass flowrate* semakin tinggi maka akan menyebabkan *pressure drop* semakin besar dan sebaliknya jika *mass flowrate* semakin kecil maka *pressure drop* akan semakin kecil.

Tabel 3.3. Variabel Optimasi

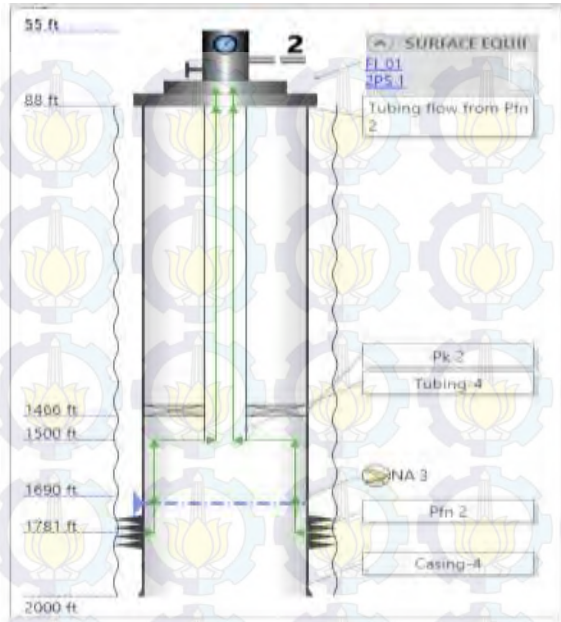
Variabel	Nilai	Satuan
Flowrate sumur 1	0.28	Kg/s
Flowrate sumur 2	0.28	Kg/s
Flowrate sumur 3	0.45	Kg/s
Flowrate sumur 4	0.28	Kg/s
Flowrate sumur 5	0.28	Kg/s
Flowrate sumur 6	0.45	Kg/s
Flowrate sumur 7	0.28	Kg/s
Flowrate sumur 8	0.45	Kg/s
Flowrate sumur 9	0.45	Kg/s
Flowrate sumur 10	0.28	Kg/s
Flowrate sumur 11	0.45	Kg/s
Flowrate sumur 12	0.28	Kg/s
Flowrate sumur 13	0.28	Kg/s
Flowrate sumur 14	0.28	Kg/s
Flowrate sumur 15	0.45	Kg/s

Tabel 3.4. Batasan Optimasi

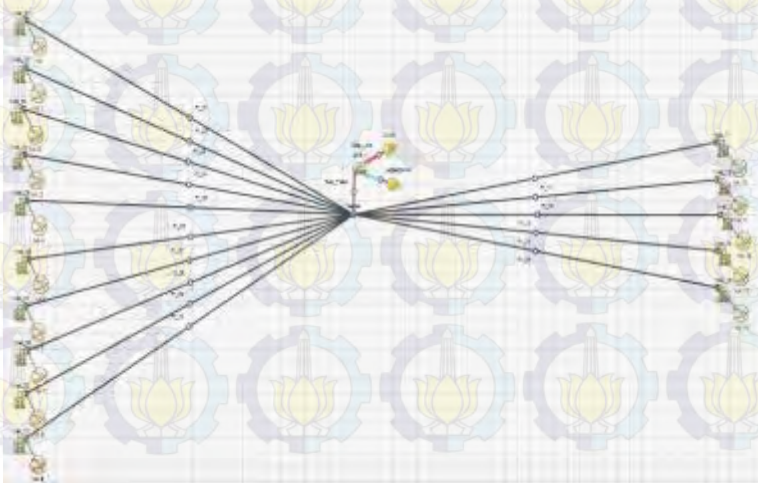
<i>Pressure Sumur (Pa)</i>	
<i>Max</i>	<i>Min</i>
5240016	4964225
5240016	4964225
6550019	6205282
5240016	4964225
5240016	4964225
6550019	6205282
5240016	4964225
6550019	6205282
6550019	6205282
5240016	4964225
6550019	6205282
5240016	4964225
5240016	4964225
5240016	4964225

3.2.1. Analisa Sistem Nodal

Dalam menggunakan software pipesim ada beberapa parameter yang harus dikerjakan seperti perancangan model sumur, perancangan fasilitas permukaan, pemasukan nilai data input, validasi perancangan, pengecekan data eror pada saat iterasi hingga proses eksekusi sempurna. Setelah mengatur dimensi dari sumur yang akan disimulasikan, selanjutnya nilai variabel, variasi tekanan, dan serta laju alir inlet dimasukkan untuk melihat profil pada Data yang telah dimasukkan ke dalam PIPESIM untuk diketahui terkait *pressure drop* nya. Kemudian dimasukkan jenis *fluida* dipilih berupa campuran gas dan *liquid* dengan kombinasi 80 : 20 dan dimasukkan nilai *gas liquid ratio (GLR)* serta temperatur pada permukaan.



Gambar 3.3. Rancangan Sumur Gas Analisa Sistem Nodal



Gambar 3.4. Fasilitas Permukaan Sumur Gas

Pada hasil perhitungan yang menggunakan persamaan Begg & Brill dan Persamaan korelasi Gilbert yang mana nilai tersebut akan dimasukkan kedalam PIPESIM seperti misalnya pada parameter *surface equipment*. Kemudian setelah semua parameter dimasukkan maka akan dianalisa dengan *nodal analysis* yang akan menampilkan kurva dan memberikan informasi terkait titik operasi atau *operating point*. Kemudian dapat dilihat data *pressure drop* nya.

3.5. Optimasi Pemodelan Sumur Gas

Optimasi dilakukan dengan mengangabungkan persamaan metode Beggs-Bril dan persamaan korelasi Gilbert. Pemodelan dilakukan pada massa setiap sumur yang harus menjadi massa target pada setiap sumur. Optimasi dilakukan dengan menggunakan fungsi objektif yaitu dengan meminimalkan hitungan variabel yang menggunakan Persamaan (3.1).

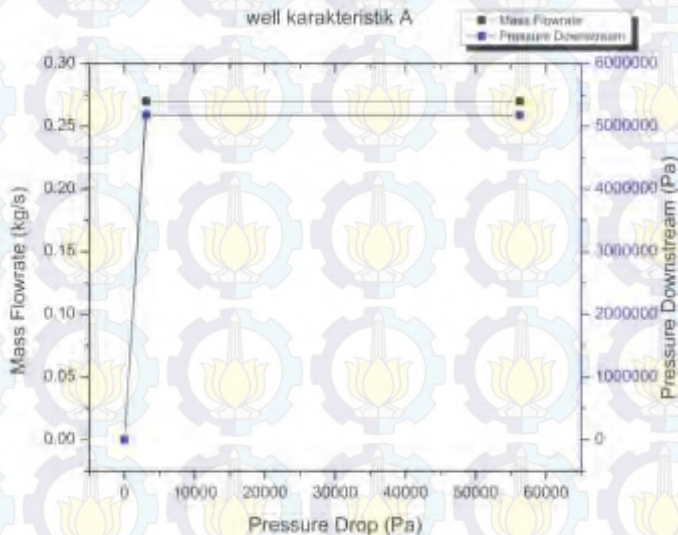


Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Validasi Sistem Analisa Nodal

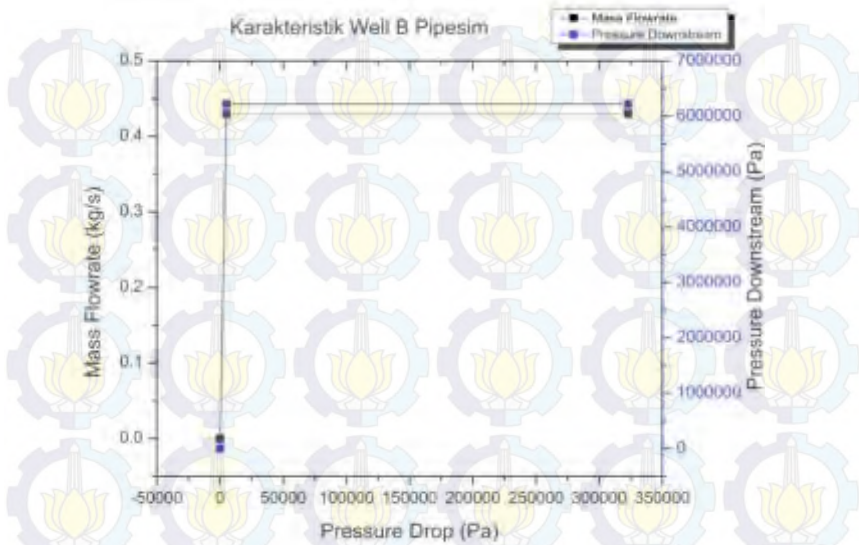
Pada PIPESIM dilakukan simulasi pada 15 sumur untuk melihat *pressure drop* dengan memasukkan data *well inlet* dan hasil *mass flowrate* target setiap sumur. Berikut hasil simulasi grafik pada analisa sistem nodal sumur karakteristik A.



Gambar 4.1. Hubungan *Mass Flowrate* dan *Pressure Drop* pada Karakteristik A Pipesim

Pada hasil grafik simulasi sumur karakteristik A pada 9 sumur dimasukkan nilai *mass flowrate* pada analisis nodal (*downstream*) bernilai 0.27 kg/s tekanan pada titik analisis nodal (tekanan *downstream*) yaitu 5176075 Pa. Hasil yang didapatkan hanya berbeda tipis dengan hasil perhitungan metode Beggs&Brill. Dari hasil simulasi maka diketahui kehilangan tekanan dari kepala sumur (pwh) yang mana semakin besar *mass*

flowrate akan semakin besar kehilangan tekanan yang didapat.



Gambar 4.2. Hubungan *Mass Flowrate* dan *Pressure Drop* pada Karakteristik A Pipesim

Pada hasil grafik simulasi sumur karakteristik B pada 6 sumur didapatkan *mass flowrate* pada analisis nodal (*downstream*) bernilai 0.43 kg/s dengan nilai *pressure drop* yaitu 322833.2 Pa dengan tekanan pada titik analisis nodal (tekanan *downstream*) yaitu 6221464 Pa. Hasil yang didapatkan hanya berbeda tipis dengan hasil perhitungan pada metode yang digunakan. Dari hasil simulasi maka diketahui kehilangan tekanan dari kepala sumur (*pwh*) hingga yang mana semakin besar *mass flowrate* akan semakin besar kehilangan tekanan yang didapat.

Adapun besarnya *error* antara pemodelan *pressure drop* pada optimasi sumur gas menggunakan metode Beggs-Brill dan persamaan korelasi Gilberts dengan simulasi analisa sistem nodal menggunakan *software* PIPESIM dapat dilihat pada **Tabel 4.1**.

Tabel 4.1. Validasi Model

Sumur	<i>Mass Flowrate Target 15 sumur (kg/s)</i>	Pressure Drop Metode Beggs-Brill (Pa)	Pressure Drop Analisa Nodal (Pa)	<i>Error (%)</i>
1	0.27	56261.22	51916.14	7.7
2	0.27	56261.22	51916.14	7.7
3	0.43	340601	322833.2	5.2
4	0.27	56261.22	51916.14	7.7
5	0.27	56261.22	51916.14	7.7
6	0.43	340601	322833.2	5.2
7	0.27	56261.22	51916.14	7.7
8	0.43	340601	322833.2	5.2
9	0.43	340601	322833.2	5.2
10	0.27	56261.22	51916.14	7.7
11	0.43	340601	322833.2	5.2
12	0.27	56261.22	51916.14	7.7
13	0.27	56261.22	51916.14	7.7
14	0.27	56261.22	51916.14	7.7
15	0.43	340601	322833.2	5.2

Dari tabel dapat dilihat hasil optimasi pada masing masing sumur dengan menggunakan persamaan Beggs&Brill dan korelasi Gilbert bernilai 0.27 kg/s untuk karaktersitik *well A* dan 0.43 kg/s untuk karakteristik *well B* yang mana total dari 15 sumur bernilai 5 kg/s. *Pressure drop* paling besar terjadi saat nilai *mass flowrate* bernilai 0.43 kg/s, dimana *pressure drop* sebesar 340601 Pa dan *pressure drop* pada simulasi PIPESIM sebesar 322833.2 Pa. Nilai rata-rata error untuk 15 sumur adalah 6.7 %. Berdasarkan data pada **Tabel 4.1**, terdapat selisih antara data model dan data desain pada keluaran *pressure drop* nya dikarenakan mekanisme pada *software* PIPESIM lebih baik dibandingkan dengan mekanisme pemodelan menggunakan metode Beggs-Brill serta sudah diteliti dan diperhalus sistemnya dengan sangat detil. Adanya nilai *error* yang tidak terlalu besar dengan batasan error 10% pada simulasi Analisa Sistem Nodal menandakan bahwa

persamaan yang diuji cukup akurat dalam mendapatkan nilai *mass flowrate* target masing masing sumur dengan memperkirakan hubungan *mass flowrate* dan *pressure drop*.

4.2. Analisis Base Case

Penelitian ini dimulai dengan menghitung data data yang didapatkan untuk mencari nilai *mass flowrate* dan *pressure drop* pada setiap sumur. Setelah perhitungan dilakukan diketahui bahwa massa pada setiap sumur telah memiliki besar massa yang sama pada 9 sumur dan 6 sumur. Pada pemodelan Perpipaan, digunakan persamaan Beggs – Brill pada setiap sumur dengan asumsi proses massa jenis konstan dan horizontal. Sedangkan pada *valve* digunakan persamaan Gilbert dari kepala sumur. Dari hasil perhitungan didapatkan nilai pada **Tabel 4.1** dan **Tabel 4.2**.

Tabel 4.3. Perhitungan Beggs-Brill

<i>Liquid Volumetric Flow Rate</i> (m^3/s^3)	<i>Gas Volumetric Flow Rate</i> (m^3/s^3)	<i>Mixture Velocity</i> (m/s)	<i>Superficial Gas Velocity</i> (m/s)	<i>Superficial Liquid Velocity</i> (m/s)	<i>Input Liquid Content</i>
0.07	0.27	4.81	1.39	0.35	0.2
0.07	0.27	4.81	1.39	0.35	0.2
0.11	0.44	7.80	2.25	0.56	0.2
0.07	0.27	4.81	1.39	0.35	0.2
0.07	0.27	4.81	1.39	0.35	0.2
0.11	0.44	7.80	2.25	0.56	0.2
0.07	0.27	4.81	1.39	0.35	0.2
0.11	0.44	7.80	2.25	0.56	0.2
0.11	0.44	7.80	2.25	0.56	0.2
0.07	0.27	4.81	1.39	0.35	0.2
0.11	0.44	7.80	2.25	0.56	0.2
0.07	0.27	4.81	1.39	0.35	0.2
0.07	0.27	4.81	1.39	0.35	0.2
0.07	0.27	4.81	1.39	0.35	0.2
0.11	0.44	7.80	2.25	0.56	0.2

Tabel 4.4. Perhitungan Persamaan Gilbert

Z	S	tekanan kepala sumur (Pa)
0.1627	1.29	5233912.28
0.1627	1.29	5233912.28
0.1627	1.29	6539060.76
0.1627	1.29	5233912.28
0.1627	1.29	5233912.28
0.1627	1.29	6539060.76
0.1627	1.29	5233912.28
0.1627	1.29	6539060.76
0.1627	1.29	6539060.76
0.1627	1.29	5233912.28
0.1627	1.29	6539060.76
0.1627	1.29	5233912.28
0.1627	1.29	5233912.28
0.1627	1.29	5233912.28
0.1627	1.29	6539060.76

4.3. Optimasi Pemodelan

Hasil dari simulasi model *plant* yang sudah diberikan batasan-batasan, kemudian dioptimasi dengan menggunakan Metode simpleks. Optimasi metode simpleks dilakukan untuk menentukan nilai kondisi operasi proses yang menghasilkan nilai operasi yang minimal dengan fungsi objektif seperti pada Persamaan (3.1) dan (3.2).

4.3.1. Hasil Optimasi

Hasil optimasi dengan menggunakan metode simpleks. Hasil perhitungan *mass flowrate* pada setiap sumur ini dapat dilihat pada **Tabel 4.5.** yang menunjukkan bahwa nilai *mass* pada masing masing sumur dan nilai *pressure drop*. **Tabel 4.5.**

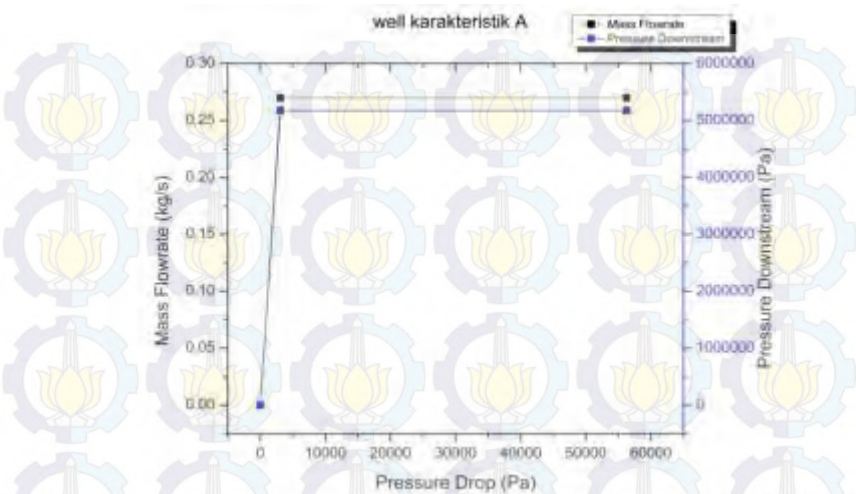
menunjukkan nilai *mass flowrate* target pada masing masing sumur dengan nilai *pressure drop* pada masing masing sumur.

Tabel 4.5. Perhitungan *Mass Flowrate* Setiap Sumur

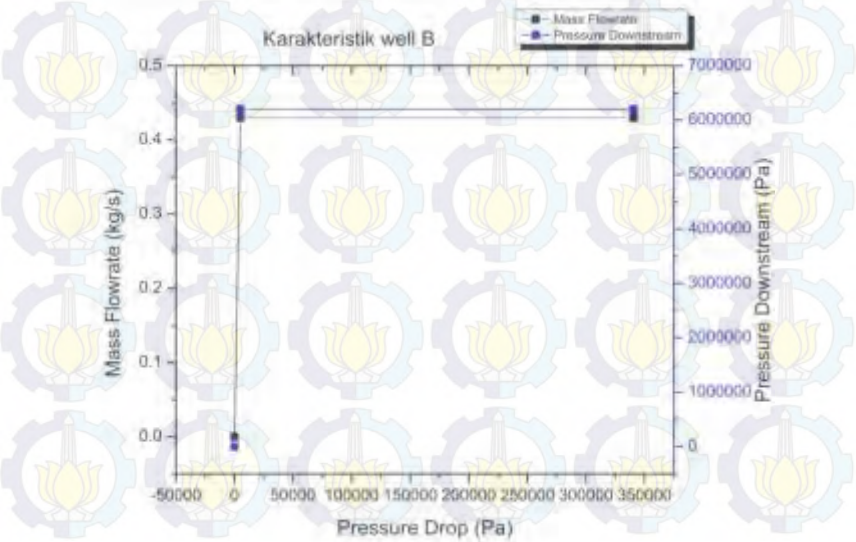
Sumur ke-	<i>Mass Flowrate</i> Sumur (kg/s)	<i>Pressure Drop</i> (Pa)
1	0.28	60784.94
2	0.28	60784.94
3	0.45	343790.14
4	0.28	60784.94
5	0.28	60784.94
6	0.45	343790.14
7	0.28	60784.94
8	0.45	343790.14
9	0.45	343790.14
10	0.28	60784.94
11	0.45	343790.14
12	0.28	60784.94
13	0.28	60784.94
14	0.28	60784.94
15	0.45	343790.14

Tabel 4.6. Hasil Optimasi *Mass Flowrate* Target Setiap Sumur

Sumur ke-	<i>Mass Flowrate Target (kg/s)</i>	<i>Pressure Drop (Pa)</i>
1	0.27	56261.22
2	0.27	56261.22
3	0.43	340601
4	0.27	56261.22
5	0.27	56261.22
6	0.43	340601
7	0.27	56261.22
8	0.43	340601
9	0.43	340601
10	0.27	56261.22
11	0.43	340601
12	0.27	56261.22
13	0.27	56261.22
14	0.27	56261.22
15	0.43	340601



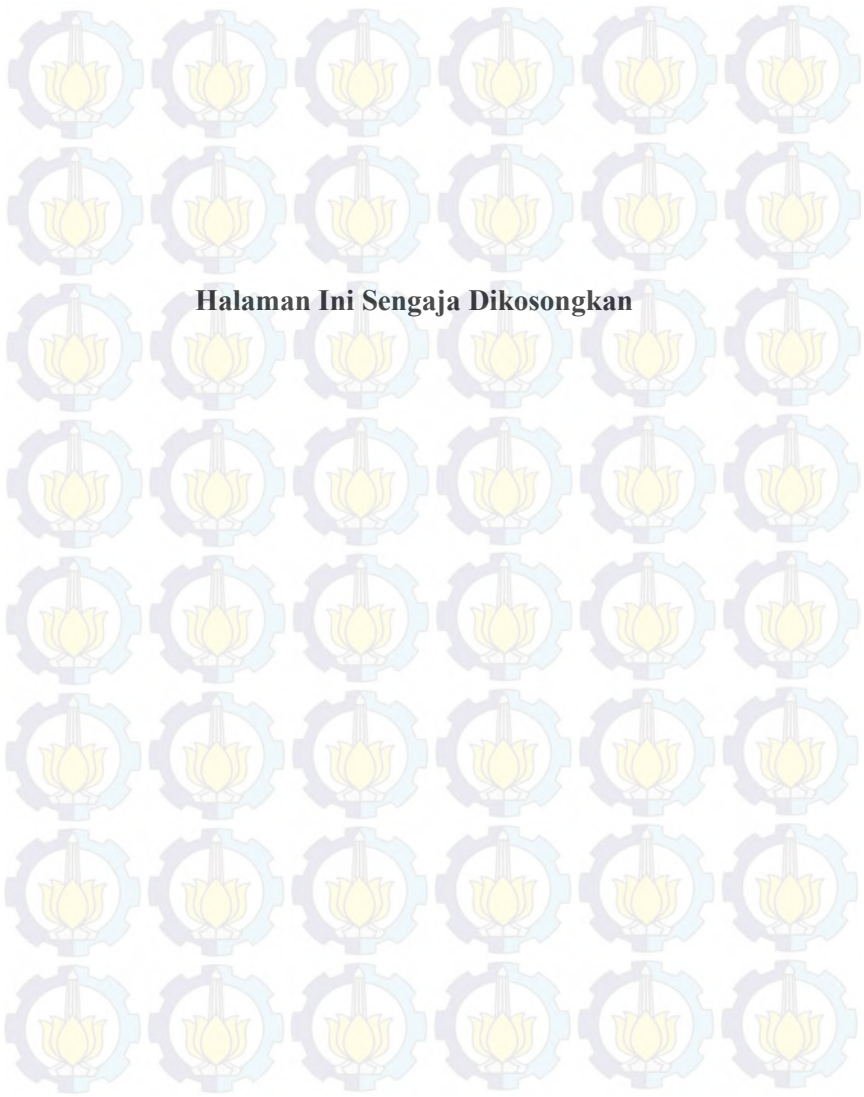
Gambar 4.3. Hubungan *Mass Flowrate* dan *Pressure Drop Well* A Beggs-Brill



Gambar 4.4. Hubungan *Mass Flowrate* dan *Pressure Drop Well* B Beggs-Brill

4.4. Pembahasan

Setelah dilakukan optimasi, *Mass flowrate* pada setiap sumur yang semula memiliki *mass flowrate* total berkisar 5.25 kg/s dan kemudian menjadi *mass flowrate* target total 5 kg/s dengan *mass flowrate* pada karakteristik A pada 9 sumur yaitu 0.27 kg/s per sumur dan karakteristik B pada 6 sumur yaitu 0.43 kg/s per sumur dengan *pressure drop* sumur karakteristik A yaitu 56261.22 Pa dan karakteristik B yaitu 340601 Pa dan menghasilkan *Pressure downstream* sebesar 5176075 Pa untuk karakteristik A dan 6200563 Pa untuk karakteristik B. Pada hasil dapat dilihat bahwa terjadi kehilangan tekanan saat melewati area *choke flow* yang mana semakin besar *mass flowrate* maka nilai *pressure drop* nya pun akan semakin besar. Namun kehilangan tekanan pada masing masing sumur tidak terlalu besar dikarenakan posisi *choke* dekat dengan diameter pipa dan menyebabkan kehilangan tekanan yang relatif kecil. Oleh karena itu, semakin besar *mass flowrate* yang didapatkan akan semakin menghasilkan *pressure drop* yang besar pula dan sebaliknya jika *mass flowrate downstream* semakin kecil akan menghasilkan *pressure drop* yang semakin kecil. Hasil ini telah sesuai dengan batasan batasan yang digunakan pada perhitungan.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data yang telah dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan dari tugas akhir ini adalah:

Dari penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut :

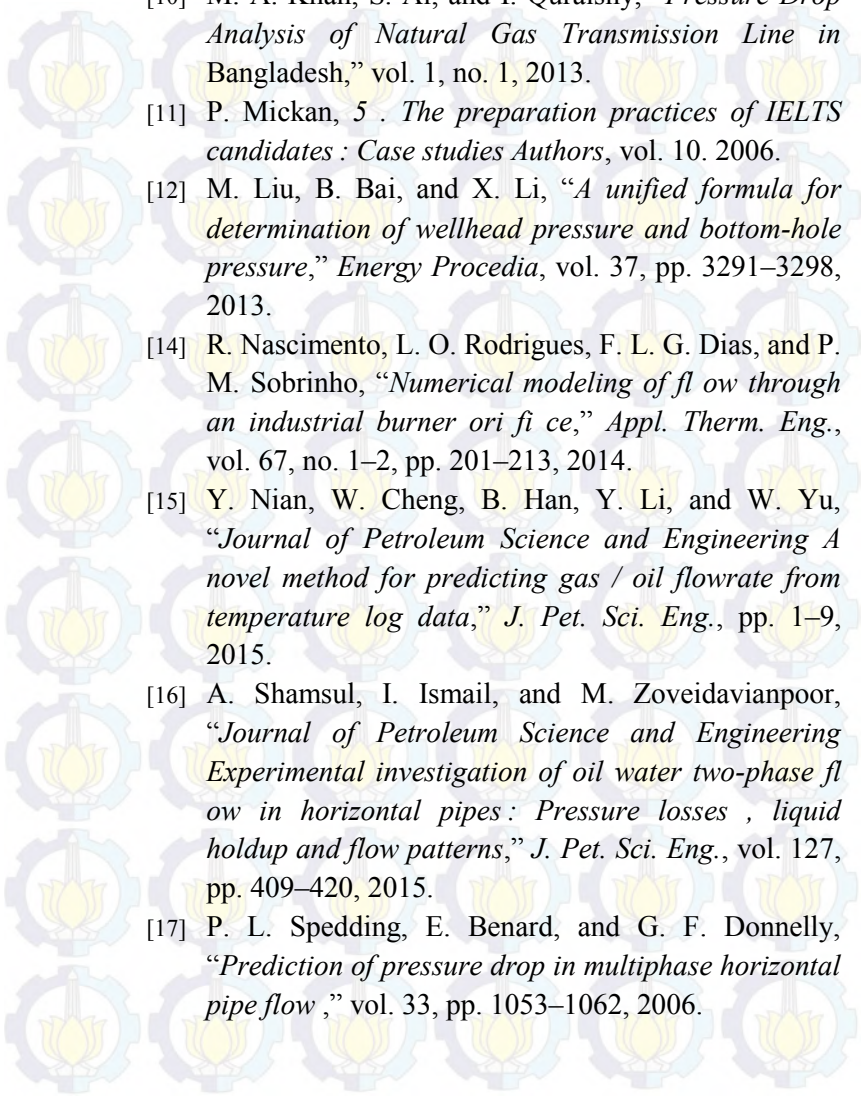
- a. *Mass flow rate* sumur pada karakteristik A memiliki nilai 0.28 kg/s dan karakteristik B bernilai 0.45 kg/s dengan total *mass flow rate* sumur 5.26 kg/. Setelah dilakukan optimasi dengan batasan *pressure* dan nilai *mass flowrate* maksimum tiap sumur maka didapatkan pada sumur karakteristik A didapatkan nilai 0.27 kg/s dengan *pressure drop* 56261.22 Pa dan 0.43 kg/s dengan *pressure drop* 340601 Pa untuk karakteristik dengan total *mass flow rate* target total 15 sumur 5 kg/s.
- b. Pemodelan *pressure drop* pada 15 sumur gas dengan menggunakan metode Beggs-Brill dan persamaan korelasi Gilbert dan divalidasi dengan simulasi analisa sistem nodal menggunakan *software* PIPESIM menunjukkan nilai rata-rata error 6.7%.
- c. Semakin besar diameter pipa akan semakin kecil *pressure drop* yang didapatkan.
- d. Semakin tinggi *mass flowrate* maka nilai *pressure drop* akan semakin besar dan sebaliknya jika *mass flowrate* semakin kecil maka *pressure drop* akan semakin kecil

5.2. Saran

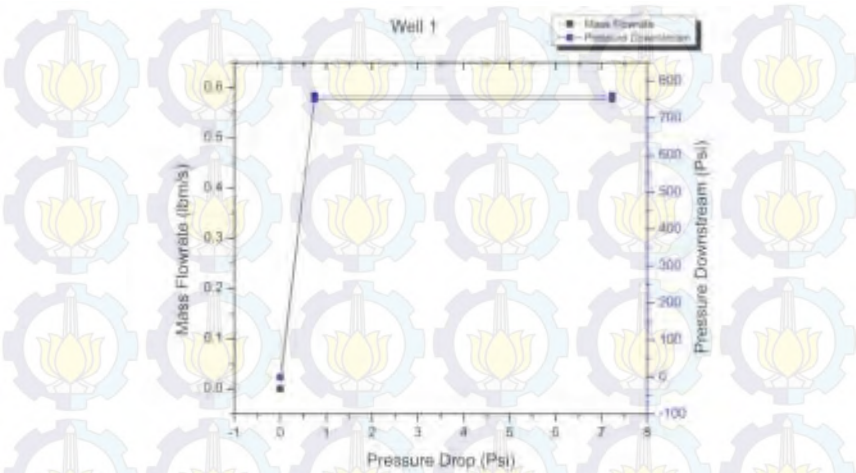
Untuk mengembangkan penelitian ini kedepannya dapat dilakukan analisa dengan metode yang berbeda yang lebih baik dan kehilangan tekanan yang lebih sedikit. Kemudian, Jika ingin menggunakan *software* pipesim, maka data input harus sesuai dengan selang input yang diberikan agar menghasilkan nilai yang sesuai dengan hasil perhitungan persamaan Beggs - Brill dan korelasi Gilberts.

DAFTAR PUSTAKA

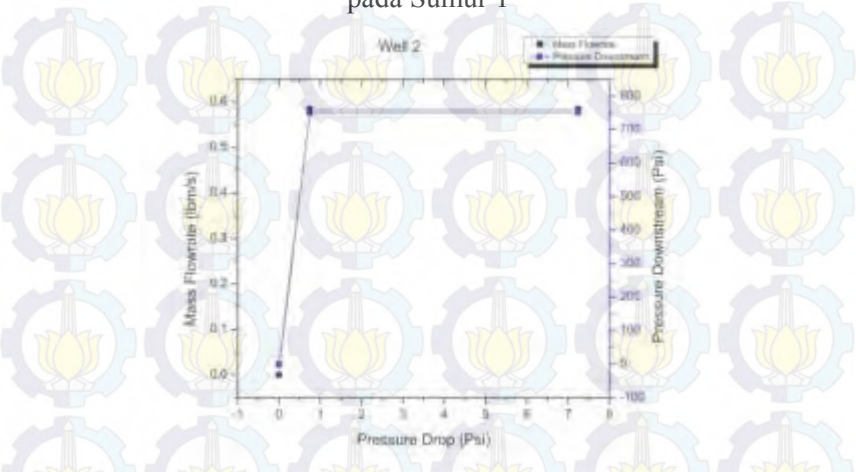
- [1]. M. S. Beiranvand, P. Mohammad moradi, B. Aminshahidy, and B. Fazelabdolabadi, “*New multiphase choke correlations for a high flow rate Iranian oil field,*” pp. 43–47, 201
- [2]. Suwanto and P. Sukarno, (2009). “*Produksi Minyak Optimum (Numerical Solution to Determine Optimum Oil Production Rate)*. Bandung : Institut Teknologi Bandung
- [3]. Bonraz Sanchez, Conrado. 2010. *Optimization Methods For Pipeline Transportation Of Natural Gas*. Norway : Univesity Bergen - Departement Of Informatic
- [4]. Taufik, Mohammad. 2009. *Pemodelan Matematis Untuk Menghitung Kemampuan Produksi Sumur Gas*. Bandung : Universitas Padjajaran – Fisika FMIPA
- [5]. *Crushman, Benoit. 2010. Mass and Energy Balance. Thayer school Of Engineering Darmouth College*
- [6]. *Harvard. 2009. Oil and Gas Production Handbook. Oslo : ABB Oil and Gas*
- [7]. E. Data and B. Iii, “Chapter 13 *Two-Phase Pressure Drops,*” pp. 1–34, 2006.
- [8]. R. Nascimento, L. O. Rodrigues, F. L. G. Dias, and P. M. Sobrinho, “*Numerical modeling of flow through an industrial burner orifice,*” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 67, no. 1–2, pp. 201–213, 2014..
- [9]. *Schlumberger Information Solution. 2010. Pipesim Fundamental (Workflow / Solution Training). Schlumberger*

- 
- [10] M. A. Khan, S. Al, and I. Quraishy, “*Pressure Drop Analysis of Natural Gas Transmission Line in Bangladesh*,” vol. 1, no. 1, 2013.
- [11] P. Mickan, 5 . *The preparation practices of IELTS candidates : Case studies Authors*, vol. 10. 2006.
- [12] M. Liu, B. Bai, and X. Li, “*A unified formula for determination of wellhead pressure and bottom-hole pressure*,” *Energy Procedia*, vol. 37, pp. 3291–3298, 2013.
- [14] R. Nascimento, L. O. Rodrigues, F. L. G. Dias, and P. M. Sobrinho, “*Numerical modeling of fl ow through an industrial burner ori fi ce*,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 67, no. 1–2, pp. 201–213, 2014.
- [15] Y. Nian, W. Cheng, B. Han, Y. Li, and W. Yu, “*Journal of Petroleum Science and Engineering A novel method for predicting gas / oil flowrate from temperature log data*,” *J. Pet. Sci. Eng.*, pp. 1–9, 2015.
- [16] A. Shamsul, I. Ismail, and M. Zoveidavianpoor, “*Journal of Petroleum Science and Engineering Experimental investigation of oil water two-phase fl ow in horizontal pipes : Pressure losses , liquid holdup and flow patterns*,” *J. Pet. Sci. Eng.*, vol. 127, pp. 409–420, 2015.
- [17] P. L. Spedding, E. Benard, and G. F. Donnelly, “*Prediction of pressure drop in multiphase horizontal pipe flow*,” vol. 33, pp. 1053–1062, 2006.

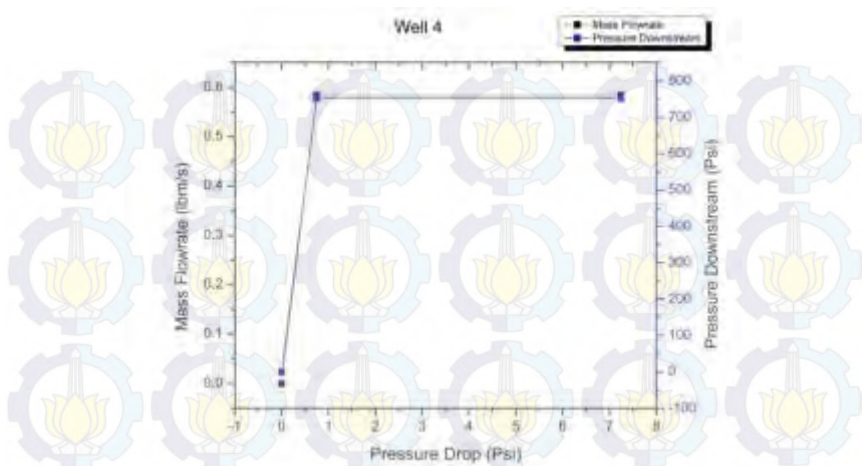
SUMUR KARAKTERISTIK A



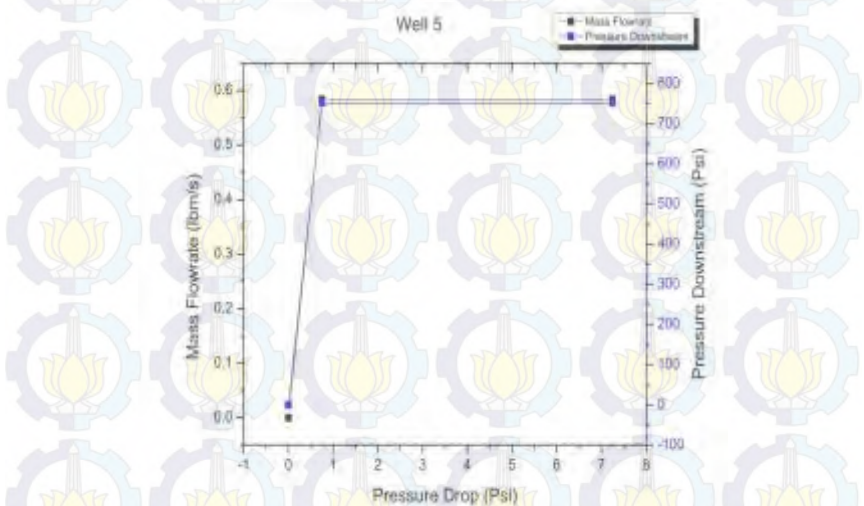
Hubungan *Pressure Drop* dengan *Mass Flowrate* 0.27kg/s pada Sumur 1



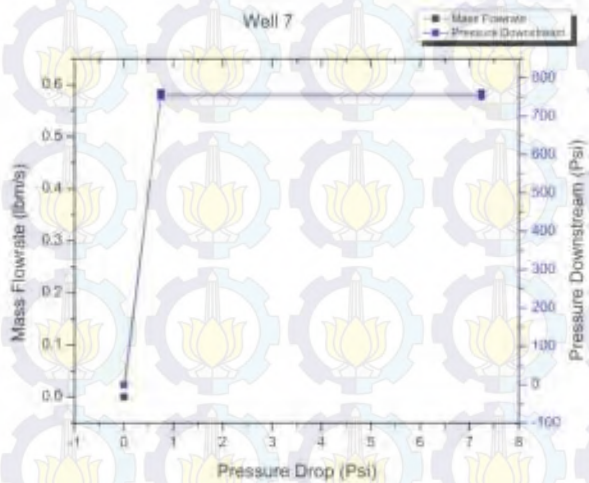
Hubungan *Pressure Drop* dengan *Mass Flowrate* 0.27kg/s pada Sumur 2



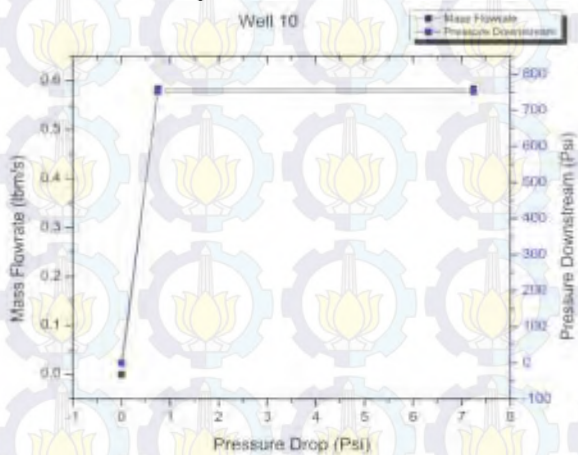
Hubungan *Pressure Drop* dengan *Mass Flowrate* 0.27kg/s pada Sumur 4



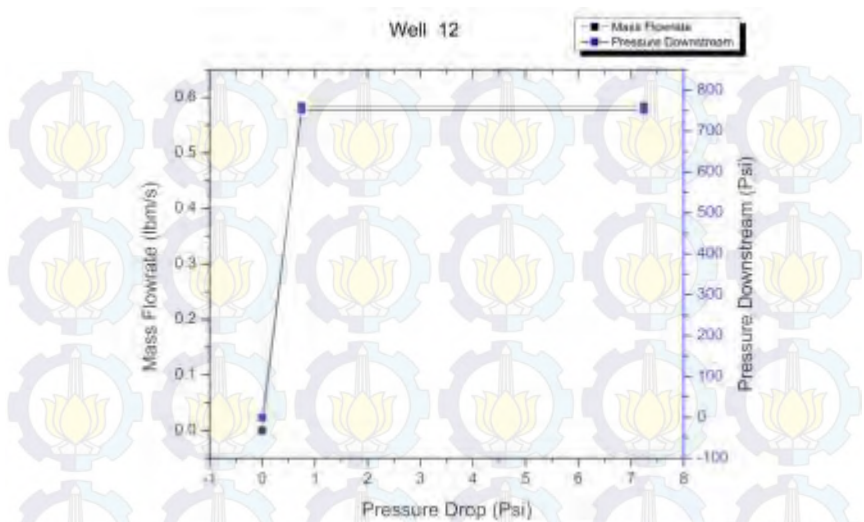
Hubungan *Pressure Drop* dengan *Mass Flowrate* 0.27 kg/s pada Sumur 5



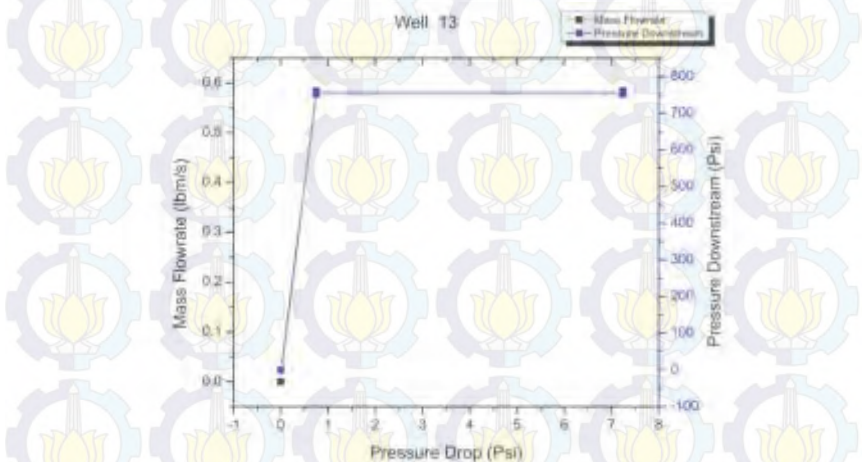
Hubungan *Presure Drop* dengan *Mass Flowrate* 0.27 kg/s pada Sumur 7



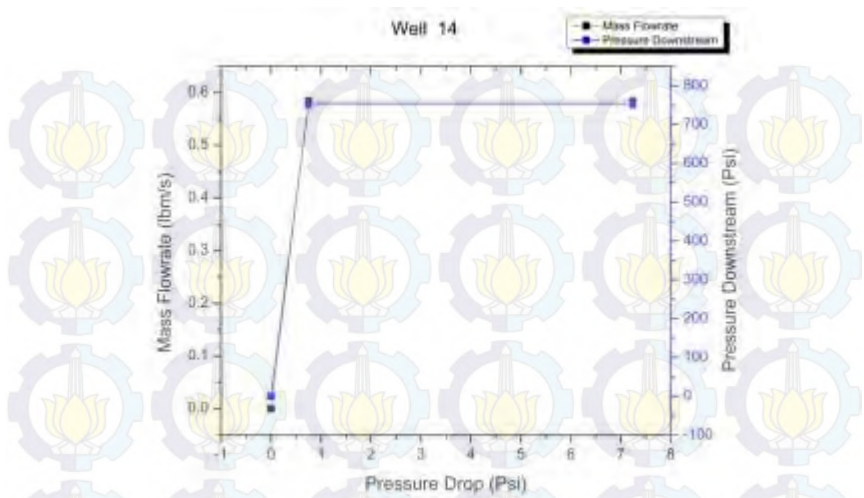
Hubungan *Presure Drop* dengan *Mass Flowrate* 0.27 kg/s pada Sumur 10



Hubungan *Presure Drop* dengan *Mass Flowrate* 0.27 kg/s pada Sumur 12

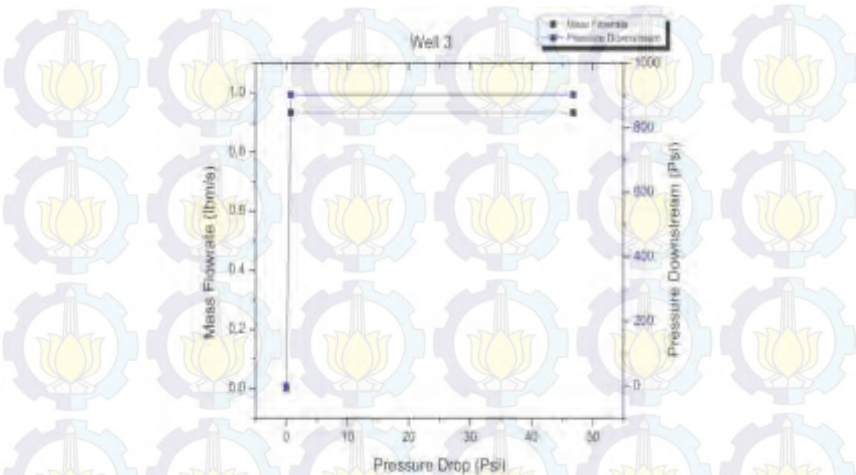


Hubungan *Presure Drop* dengan *Mass Flowrate* 0.27 kg/s pada Sumur 13

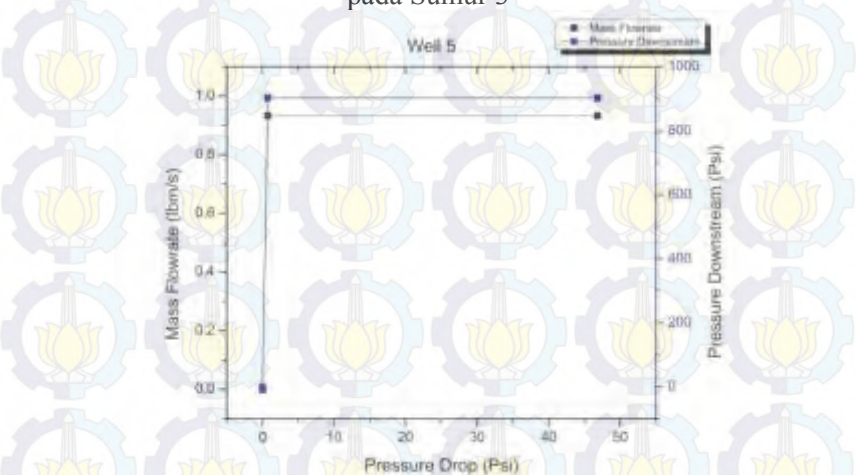


Hubungan *Pressure Drop* dengan *Mass Flowrate* 0.27 kg/s
pada Sumur 14

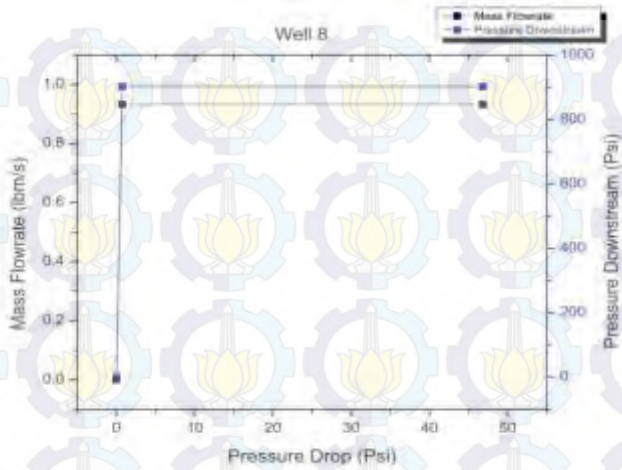
SUMUR KARAKTERISTIK B



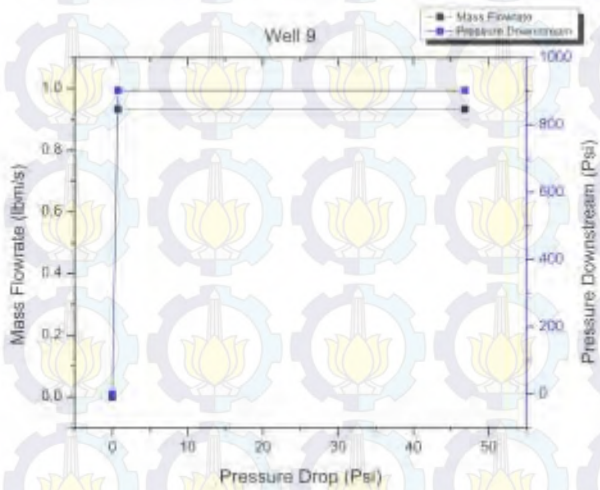
Hubungan *Presure Drop* dengan *Mass Flowrate* 0.43 kg/s pada Sumur 3



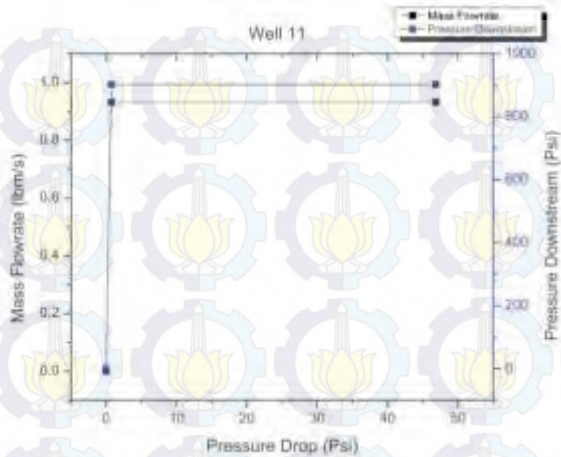
Hubungan *Presure Drop* dengan *Mass Flowrate* 0.43 kg/s pada Sumur 5



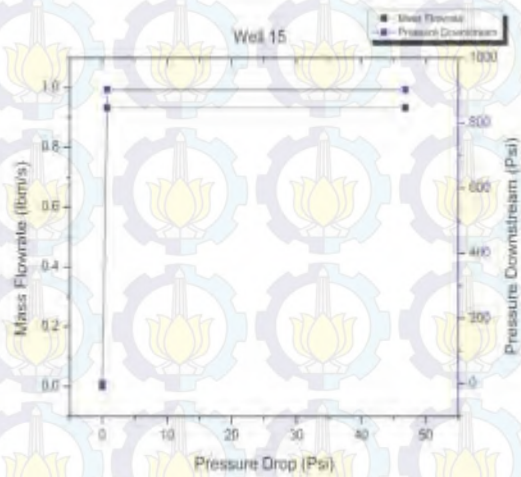
Hubungan *Presure Drop* dengan *Mass Flowrate* 0.43 kg/s pada Sumur 8



Hubungan *Presure Drop* dengan *Mass Flowrate* 0.43 kg/s pada Sumur 9



Hubungan *Pressure Drop* dengan *Mass Flowrate* 0.43 kg/s pada Sumur 11



Hubungan *Pressure Drop* dengan *Mass Flowrate* 0.43 kg/s pada Sumur 15

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di kota Lhokseumawe Aceh pada tanggal 26 November 1991. Tamat SDN Harapan 2 Medan II/425 (2003), SMP Negeri 2 Lhokseumawe (2006), SMA Negeri 1 Lhokseumawe (2009) dan D3 Elektronika dan Instrumentasi UGM (2013). Setelah tamat Diploma 3, penulis melanjutkan studinya ke jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Bidang minat yang diambil penulis ketika menempuh perkuliahan adalah Bidang Minat Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol. Pada kegiatan akademik, serta Bidang Minat Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan. Penulis aktif sebagai asisten Laboratorium Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan TF ITS. Pengalaman *internship* yang dimiliki penulis dilakukan di ExxonMobil Oil Indonesia dan PT. ARUN NGL. Pada program *internship* tersebut, penulis melakukan analisis efisiensi dan performansi pada PLTG. Penulis sekarang aktif sebagai *manager of project department* di Russia ASEAN Youth Association (RUSSEAN). Korespondensi dengan penulis dapat dilakukan melalui alamat email sayedchairul.umam@gmail.com